



Kocioł wodny jako akumulator ciepła

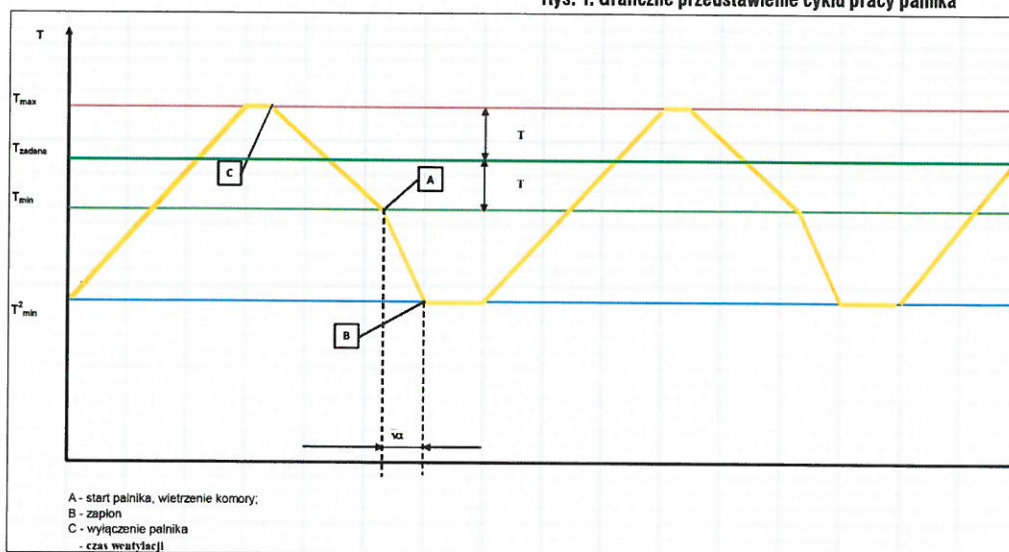
Piotr Gołąb

■ Wprowadzenie

W większości kotłowni olejowych i/lub gazowych podstawowymi jednostkami kotłowymi są kotły płomienicowo-płomieniówkowe, charakteryzujące się dużą pojemnością wodną. Są to kotły o dużej bezwładności, wolno reagujące na zmiany temperatury wody, stosunkowo powoli osiągające zadane temperatury, ale za to też powoli stygnące. Wszystkie te cechy, bardzo charakterystyczne dla tzw. „beczek”, jak gwarowo są one nazywane,

W większości ciepłowni palniki mają zakres modulacji nie większy niż 1:3 ~ 1:4, a w konsekwencji kocioł może pracować z mocą minimalną na poziomie 25~30% mocy znamionowej. W wielu przypadkach jest to jednak moc zbyt duża i automatyka po prostu wyłącza kocioł po osiągnięciu zadanej temperatury wody na wylocie z kotła. Pracę kotła w takich uwarunkowaniach przedstawia poniższy rysunek.

Rys. 1. Graficzne przedstawienie cyklu pracy palnika



sprawiają, że są one predestynowane do pracy w układach ciepłowniczych, w których zmienność parametrów jest z definicji wolno-zmienna. Zmiana podstawowego parametru regulacyjnego w systemach ciepłowniczych jakim jest temperatura wody sieciowej, nie powinna zmieniać się szybciej niż 1~3 stopnia na godzinę, z uwagi choćby na ograniczenie naprężeń w sieciach ciepłych.

W okresie letnim, kiedy zapotrzebowanie na ciepło w większości systemów ciepłowniczych w Polsce zmniejsza się do 20~30% mocy zamówionej, kotły w ciepłowniach bardzo często pracują z przerwami, których wielkość jest zależna od:

- pojemności wodnej kotła
- zapotrzebowania chwilowego na ciepło
- głębokości modulacji palnika

Cykl pracy palnika można opisać w sposób następujący:

1. regulator podaje sygnał „start” dla palnika, pkt. „A”
2. wentylator zostaje uruchomiony, następuje przedmuch komory spalania i części spalinowej kotła (wietrzenie)
3. po zakończeniu przedmuchu, następuje zapłon, pkt. „B”
4. palnik pracuje i podgrzewa wodę w kotle od temp T^2_{min} do temp. T_{max}
5. po ustabilizowaniu się temperatury wody w kotle, regulator wysyła sygnał „STOP” do palnika pkt. „C”

Pamiętać należy, że każdy rzeczywisty regulator cechuje tzw. histereza, co oznacza, że przy zadanej temperaturze T_{zadana} każde



załączenie palnika nastąpi w temperaturze $T_{zadana} - DT$ i wyłączenie palnika w temperaturze $T_{zadana} + DT$; gdzie DT jest właśnie ową histerezą.

Jak łatwo zauważyć, każde wyłączenie i załączenie kotła generuje ewidentne straty, wynikające z wychłodzenia zładu wody w kotle, spowodowane pracą wentylatora palnika w czasie przedmchu, niezbędnego przed każdym zapłonem. Gdybyśmy dysponowali urządzeniami idealnymi, to histereza byłaby minimalna ($DT \sim 0$), a $T_{zadana} = -T_{max} = -T_{min}$. Tak niestety nie jest, a minimalna histereza spotykana w rzeczywistych regulatorach to $\sim 2^{\circ}C$.

Straty ciepła w kotle, powstałe w wyniku wentylacji komory spalania można określić z zależności:

$$Q_{strat} = M * c * (T_{min} - T_{min}^2)$$

gdzie: M - masa wody w kotle, a c - ciepło właściwe wody

Jeśli zważyć, że masa wody w kotle to $10 \sim 50$ Mg, a w czasie przedmchu kocioł jest studzony o $2 \sim 4^{\circ}C$, oraz że takich cykli może być nawet kilka na godzinę, to straty ciepła „idą w gigadżule”! Schłodzenie $1Mg$ ($\sim 1m^3$) o $2^{\circ}C$ to strata energii na poziomie $8,43$ MJ, a więc jest o czym myśleć. Można je nieco ograniczyć skracając czas przedmchu (d) wymieniając palnik, gdyż takie parametry jak histereza, czas przedmchu, głębokość modulacji zawsze jest związane z typem palnika i jego układem regulacji; lub zastosować regulator z możliwie małą histerezą. Optymalnie dobra-

Modernizacja układu technologicznego

Przystosowanie kotła płomienicowo-płomieniówkowego do pracy w charakterze akumulatora jest bardzo proste i niekosztowne.

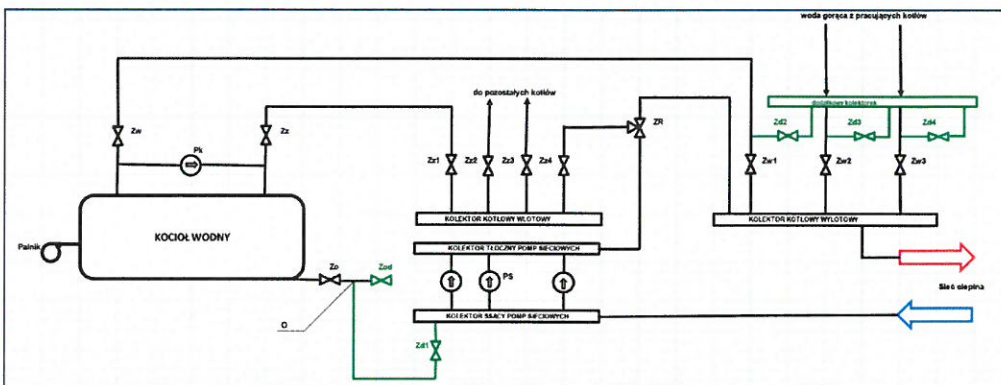
W większości ciepłowni są zainstalowane co najmniej dwa kotły, a więc oba należy przystosować do nowych warunków pracy. Na poniższym rysunku przedstawiono kolorem zielonym wszystkie dodatkowe elementy, które należy zainstalować.

Wszystkie dodatkowe elementy są zainstalowane poza obszarem ciśnieniowym kotła, a więc nie ma ingerencji w elementy podlegające UDT.

W przypadku 3 kotłów o pojemności wodnej $\sim 30m^3$ do zamontowania są następujące elementy: zawór Z_{d1} - Dn50; zawory Z_{d2} , Z_{d3} , Z_{d4} - Dn25; zawór Z_{od} - Dn40; kolektor z rury Dn50; oraz rurociąg łączący punktu „O” za kotłami z kolektorem ssącym pomp. Sumaryczne koszty modernizacji są rzędu kilku tys. złotych, a więc są praktycznie „niezauważalne”. Jak w rzeczywistości elementy te są zamontowane można zobaczyć na poniższych fotografiach.

Jeśli już uporamy się z modernizacją układu technologicznego, możemy rozpocząć wykorzystywanie pojemności wodnej naszych kotłów do akumulacji ciepła.

Nowy cykl pracy kotłowni będzie teraz wyglądać następująco:



Rys. 2. Schemat kotłowni z zaznaczonymi dodatkowymi elementami

ny układ: palnik - regulator - kocioł powinien pracować bez wyłączeń w okresie minimalnych poborów ciepła (letnia noc) i jednocześnie umożliwiać pracę kotła z mocą nominalną, w razie npotrzeb.

Jeśli te działania nie odniosą skutku, należy podjąć działania pozwalające na zmniejszenie ilości wyłączeń palnika w ciągu doby. Jednym ze sposobów ograniczania ilości załączeń palnika jest przystosowanie kotła do pracy w charakterze akumulatora ciepła.



Dodatkowa armatura na kolektorze wlotowym do kotłów



Dodatkowa armatura w rejonie odwodnienia kotła umożliwiająca jego pełne naładowanie



Dodatkowy kolektor na wylocie z kotłów umożliwiający ładowanie 2 kotłów w czasie pracy jednego kotła



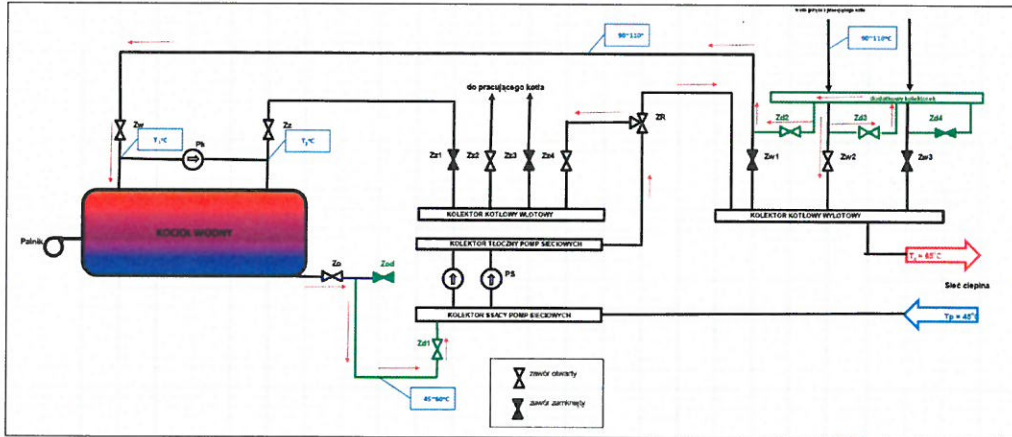
Włączenie rurociągu „wysysającego” zimną wodę z kotłów



Ładowanie kotła

Ta faza pracy ciepłowni jest przedstawiona na poniższym rysunku.

mi, odstawionymi do rezerwy. Jeśli w czasie ładowania kotła wystąpi zbyt duże $DT = T_1 - T_2$, to wystarczy na 1~3 minut załączyć pompę kotłową, aby ten, istotny dla bezpiecznej



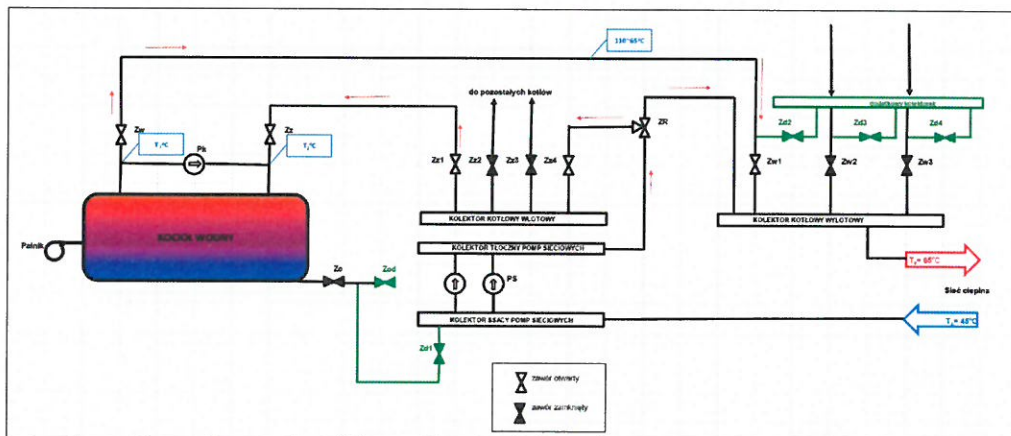
Rys. 3. Cykl ładowania kotła

Woda gorąca z pracującego kotła płynie do kolektora kotłowego wylotowego, dokładnie tak jak zwykle. Część gorącej wody jest kierowana przez zawór Z_{d3} do dodatkowego kolektorka, a następnie poprzez zawór Z_{d2} do **rurociągu wylotowego** kotła ładowanego. Chłodna woda z kotła jest „wysysana” przez zawór zasadniczo służący do odwadniania kotła, a więc płynie przez zawór Z_{o1} , przed dodatkowy rurociąg do zaworu Z_{d1} , do kolektora ssącego pomp sieciowych. W efekcie kocioł wypełnia się wodą gorącą, o temperaturze 90~110°C prawie w 100% swojej pojemności.

pracy kotła, parametr osiągnął wartości przewidziane w instrukcjach eksploatacyjnych, a więc aby $DT < 30^{\circ}\text{C}$.

Rozładowanie kotła

Procedura stosowana przy pracy kotła w cyklu rozładowywania jest praktycznie taka sama jak w czasie normalnej pracy, z tą różnicą, że palnik jest wyłączony. Ta faza pracy kotła jest przedstawiona na poniższym rysunku



Rys. 4. Cykl rozładowania kotła

Byłoby to niemożliwe, gdyby do ładowania kotła używać rurociągów wlotowych i wylotowych, z tego względu, że są one zainstalowane w górnej części kotła. (takie próby były podejmowane, ale z uwagi na niewielkie efekty akumulacyjne, prób tych zaniechano!). Kocioł można uważać za w pełni naładowany, jeśli $T_1 = T_2$. W identyczny sposób postępujemy ze wszystkimi posiadanymi kotła-

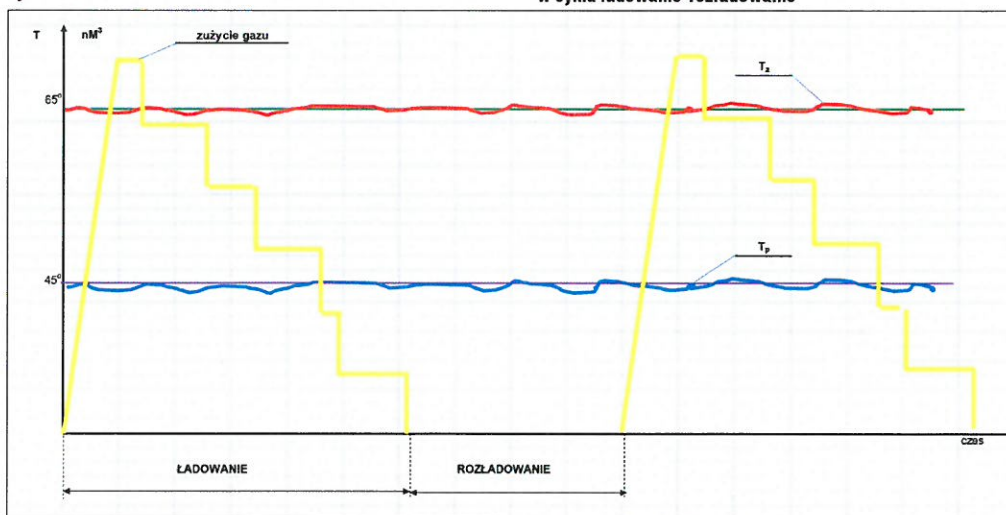
Woda sieciowa jest podawana przez pompy sieciowe do kolektora kotłowego wlotowego, a następnie poprzez zawór Z_{z1} płynie do kotła i wypycha z niego wodę gorącą, która jest kierowana do kolektora kotłowego wylotowego. Regulacja temperatury wody sieciowej jest realizowana przez zawór trójdrogowy, który miesza część wody z powrotu sieci z wodą wypchaną z kotła. W sieci są zach-



wane wymagane parametry, a więc Odbiorca „nie widzi”, że palniki w tym czasie nie pracują. Kocioł rozładujemy do czasu, aż temperatura na jego wyjściu nie będzie wyższa niż 65°C. Jeśli w czasie rozładowania kotła wystąpi zbyt duże $DT = T_1 - T_2$, to wystarczy na 1–3 minut załączyć pompę kotłową, aby ten, istotny dla bezpiecznej pracy kotła, parametr osiągnął wartości przewidziane w instrukcjach eksploatacyjnych, a więc aby $DT < 30^\circ\text{C}$.

Praca układu kotłownia - sieć

Wszelkie zmiany w reżimie technologicznym kotłowni nie mogą spowodować zauważalnych zmian w pracy sieci, tzn. parametry pracy (ciśnienie i temperatura na zasilaniu) nie mogą ulegać zmianie w sposób odczuwany przez Odbiorców. Pracę kotłowni, z wykorzystaniem pojemności wodnej kotłów jako akumulatorów ciepła przedstawia poniższy rysunek.



Jak łatwo zauważyć, palnik w kotle pracuje okresowo, a temperatury wody na wyjściu z kotłowni praktycznie nie ulegają zmianie. Bardzo ważna jest jednak pojemność cieplna (wodna) akumulatora, od której zależy czas rozładowania. W polskich realiach, kiedy udział zapotrzebowania na cw z rzadka przekracza 20–30% mocy zamówionej, a kotły są z reguły zainstalowane z pewną nadwyżką mocy, bardzo prawdopodobny jest scenariusz pracy kotłowni: 1–2 godz. ładowania - 3–4 godziny rozładowania. Dodatkowo należy rozważyć wyłączenie palników w godzinach 23–5 (godziny postoju mogą być zależne od specyfiki danego miasta, dnia tygodnia itp.), co pozwoli na dodatkowe zmniejszenie zużycia gazu i wykorzystanie zdolności akumulacyjnych sieci ciepłej. Możliwy jest scenariusz, że palnik pracuje tylko 8 godzin na dobę, załączany 4–5 razy w ciągu dnia,

a przez 16 godzin ciepło jest przekazywane do sieci z akumulatora.

Potwierdzenie Praktyczne

Kotłownia w PCU PIASECZNO sp. z o.o. od kilku lat pracuje w sposób opisany w okresie letnim, tzn. w czasie kiedy należy zaspokajać potrzeby Odbiorców w zakresie dostaw ciepłej wody. Układ jest przetestowany w warunkach rzeczywistych i działa poprawnie.

Poniżej są przedstawione zrzuty z ekranów układu DCS, które pokazują rzeczywiste parametry pracy kotłów: ładującego i ładowanych, oraz cały proces rozładowania

Na pierwszym rysunku są przedstawione przebiegi temperatur kotła pracującego, który po naładowaniu 2 sąsiednich ma wyłączany palnik i oddaje zakumulowane ciepło do sieci.

Rys. 5. Graficzny obraz pracy kotłowni w cyklu ładowanie-rozładowanie

Rzeczywisty scenariusz pracy wyglądał tego dnia następująco:

godz. 04.05 - zapłon palnika
godz. 04.05 ~ 06.35 - praca palnika, ładowanie kotłów i podgrzew wody sieciowej
godz. 06.35 ~ 08.55 - postój palnika, rozładowanie kotła
godz. 08.55 - zapłon palnika, początek następnego cyklu

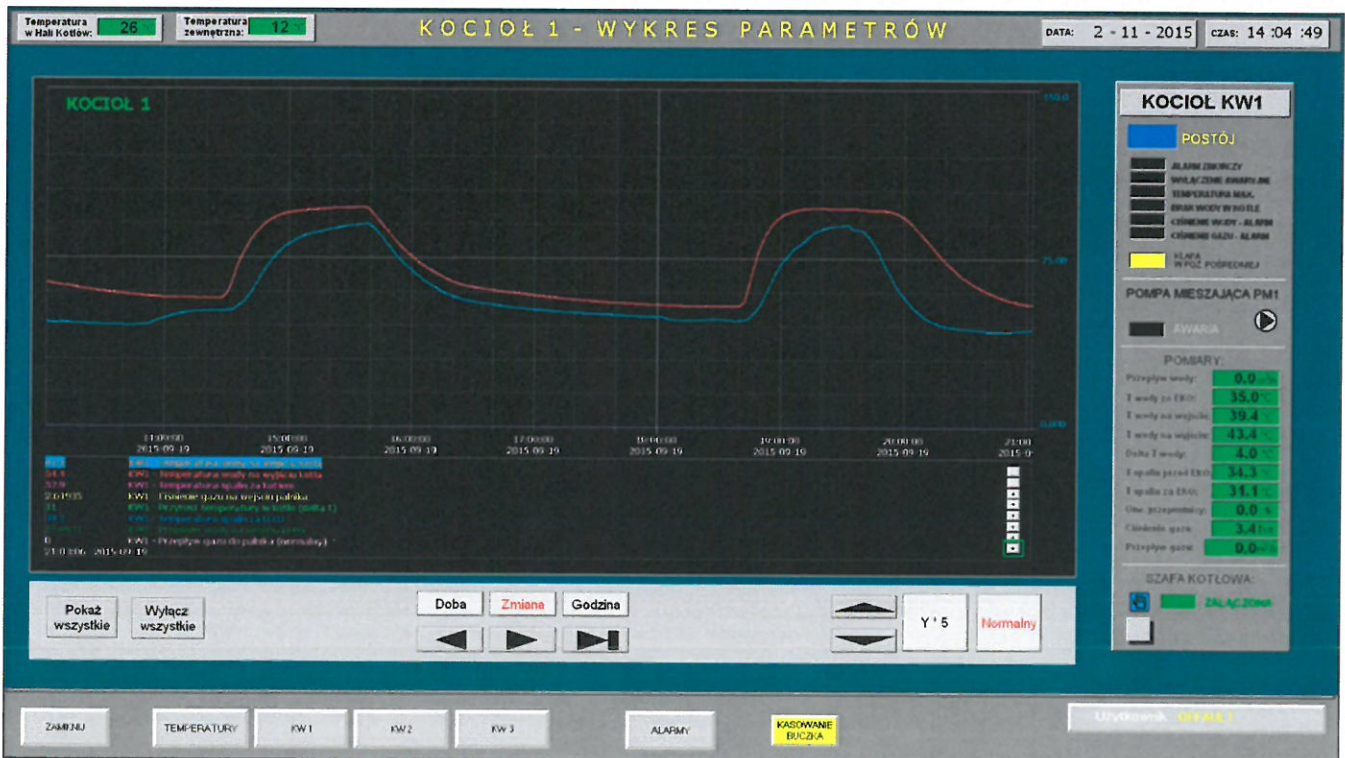
Na następnych rysunkach przedstawiono rzeczywiste przebiegi temperatur wody na wlocie i wylocie kotłów, których pojemność wodna była wykorzystywana do akumulacji ciepła przy niepracujących palnikach. Na wykresach wyraźnie widać okres ładowania - krzywe wznoszące, i rozładowania - krzywe opadające.

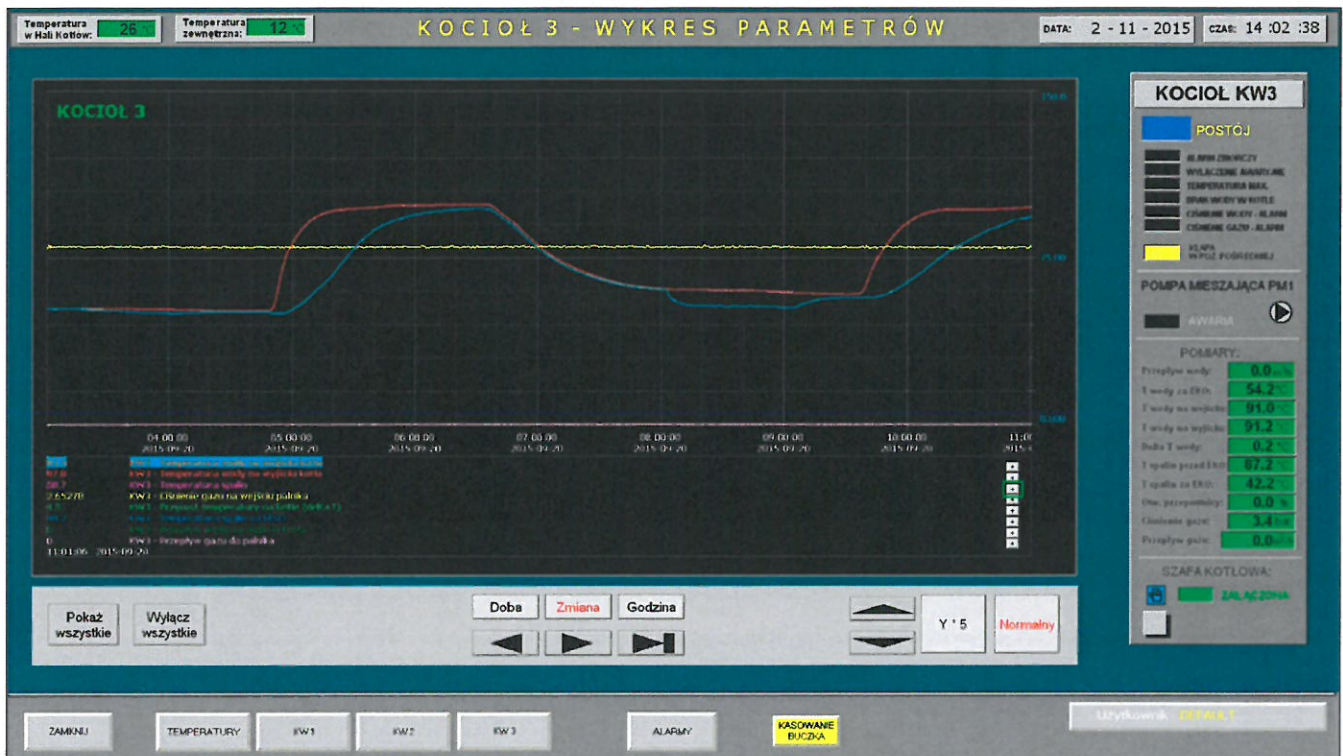
linia niebieska - temperatura na wlocie do kotła

linia czerwona - temperatura na wylocie z kotła



- Wykresy parametrów kotła z pracującym palnikiem
- linia fioletowa – przepływ gazu do palnika
 - linia czerwona – temp. wody na wylocie z kotła
 - linia niebieska – temperatura wody na wlocie do kotła





Efekty ekonomiczne

Wykorzystanie dużej pojemności wodnej kotłów ciepłowniczych do akumulacji ciepła, połączone z zainstalowaniem nowoczesnych palników o modulacji 1:10 oraz z kontrolą tlenu w spalinach pozwala na obniżenie zużycia gazu do poziomu ~26 Nm³/GJ ciepła wyprodukowanego w ciepłowni.

Czas zwrotu nakładów poniesionych na adaptację układu technologicznego jest praktycznie zerowy - nakłady zwracają się przy następnej fakturze rozliczeniowej za gaz.

Wszystkich zainteresowanych tym zagadnieniem zapraszam do odwiedzenia naszej kotłowni w Piasecznie, a ewentualne pytania związane tym tematem proszę kierować na adres: pgolab@pc-u.pl

Piotr Gołąb

Wykresy parametrów kotłów pracujących jako akumulatory ciepła

- linia czerwona – temperatura wody na wylocie kotła
- linia niebieska – temperatura wody na wlocie do kotła